

**DISEÑO Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DE UNA FRESA MADRE DE  
MODULO 2.5 mm**

**LUIS ESTEBAN CAMPO CARVAJAL**

**CÓDIGO: 1088300927**

**CARLOS STIVEN GIL CAÑAVERAL**

**CÓDIGO: 1088296147**

**PROYECTO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍAS**

**ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA**

**PEREIRA**

**NOVIEMBRE, 2018**

**DISEÑO Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DE UNA FRESA MADRE DE  
MODULO 2.5 mm**

**LUIS ESTEBAN CAMPO CARVAJAL**

**CÓDIGO: 1088300927**

**CARLOS STIVEN GIL CAÑAVERAL**

**CÓDIGO: 1088296147**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
TECNÓLOGO MECÁNICO**

**HERNÁN BARRENECHE RÍOS**

**DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍAS**

**ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA**

**PEREIRA**

**NOVIEMBRE, 2018**

## TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO .....	2
LISTA DE ANEXOS .....	5
LISTA DE TABLAS .....	6
LISTA DE FIGURAS .....	7
RESUMEN .....	8
INTRODUCCIÓN .....	9
METODOLOGÍA EMPLEADA .....	10
1. OBJETIVOS .....	11
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
2. ESTADO DEL ARTE .....	12
2.1 HISTORIA DEL MECANIZADO .....	12
2.2 FRESADO .....	12
2.2.1 Fresadora .....	12
2.2.2 Fresa .....	13
2.2.3 Fresa en sistema de módulo .....	15
2.2.4 Fresas en sistema paso diametral .....	15
2.3 MÉTODO DE FABRICACION DE ENGRANAJES POR GENERACIÓN ..	15
2.3.1 Parámetros o características de la generadora .....	17
2.3.2 Sistemas de fijación usados en la generación .....	20
2.3.3 Movimientos principales en la generadora .....	20
2.4 FRESA MADRE .....	21
3. DISEÑO GEOMÉTRICO DE FRESA MADRE DE MÓDULO 2,5 mm .....	22
3.1 INTRODUCCIÓN A ESTÁNDARES DE ENGRANAJES .....	22
3.2 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS Y ECUACIONES CORRESPONDIENTES .....	23
3.3 CÁLCULO DE LOS VALORES DIMENSIONALES DE LA FRESA MADRE 27	
3.4 PROCEDIMIENTO PARA FABRICAR PIÑONES EN LA MÁQUINA GENERADORA .....	31

3.4.1	Ejemplo de cálculo para la fabricación de un piñón recto en la maquina generadora TOS F06:.....	33
4.	SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA FRESA MADRE .....	36
4.1	ACEROS PARA HERRAMIENTAS.....	36
5.	ORDEN OPERACIONAL PARA CONSTRUCCIÓN DE FRESA MADRE .....	41
5.1	PREPARACIÓN DEL NÚCLEO METÁLICO .....	41
5.2	CONSTRUCCIÓN DEL TORNILLO .....	41
5.3	CONSTRUCCIÓN DE LOS DIENTES .....	41
5.4	DESTALONADO DE LOS DIENTES .....	41
5.5	TRATAMIENTO TÉRMICO.....	41
5.5.1	Templado .....	42
5.5.2	Revenido.....	42
6.	RECOMENDACIONES.....	43
7.	CONCLUSIONES.....	44
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	45

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A. Plano tecnológico de fresa madre de módulo 2,5 mm.

ANEXO B. Modelo de fresa madre de módulo 2,5 mm impreso con tecnología 3D en material polimérico.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros generadora TOS F06.....	18
Tabla 2. Ruedas de recambio para tren divisor y tren diferencial.....	19
Tabla 3. Series de módulos normalizados .....	23
Tabla 4.Parámetros calculados con módulo 2,5 mm.....	31
Tabla 5. Temperaturas de temple y revenido.....	39
Tabla 6. Composición química del material.....	40

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de fresas. ....	13
Figura 2. Generadora de engranajes. ....	16
Figura 3. Partes de la generadora de engranajes. ....	17
Figura 4. Fresa madre .....	21
Figura 5. Parámetros del tornillo sin fin. ....	25
Figura 6. Perfil de la fresa madre. ....	28
Figura 7. Dimensiones nominales para fresas madre .....	29
Figura 8. Valores de selección para chavetas. ....	30
Figura 9. Montaje de tren divisor para generar piñones rectos. ....	35
Figura 10. Recomendaciones para tratamiento térmico del material. ....	39

## RESUMEN

Haciendo énfasis en el proceso de fabricación de engranajes por el método de generación y sus ventajas, se realiza el diseño de una fresa madre de módulo 2,5 mm, con la finalidad de ser utilizada en la máquina generadora de engranajes ubicada en el laboratorio de máquinas-herramientas en el bloque de mecánica de la UTP, con tal de ser aprovechada ampliando las prácticas pedagógicas en esta máquina a beneficio de los estudiantes de tecnología e ingeniería mecánica.

Tomando el dato inicial de módulo 2,5 mm y siguiendo estándares y normas internacionales establecidos, se calculan y eligen los parámetros geométricos de la fresa, se elige el material de la fresa basados en las propiedades mecánicas, de las cuales se desprende la selección de los materiales a maquinar, los parámetros de corte y el tipo de tratamiento térmico que será aplicado en dicha herramienta.

Con los resultados obtenidos producto de la investigación, se construyen los planos tecnológicos de la fresa madre, en donde quedan expresadas todas las dimensiones, tolerancias y datos requeridos para su fabricación.

Teniendo en cuenta que se trabajara en la maquina generadores de la UTP, se hace un estudio del tipo de máquina con que se cuenta, realizando una descripción del equipo y realizando un ejemplo de cálculo para la fabricación de engranaje en esta.

Finalmente se cumple con el objetivo principal del proyecto “diseñar y hacer el desarrollo tecnológico una fresa madre módulo de 2,5 mm” obtenido conclusiones y brindando recomendaciones.



## INTRODUCCIÓN

En el ámbito de fabricación de engranajes en serie, no se aplica el fresado convencional, se usan maquinas especiales para la producción de ruedas dentadas, por ejemplo el método de generación de engranajes, en el cual una de las distintas formas de fabricación ruedas dentadas es con la utilización de la fresa madre como herramienta. El método de generación de engranajes es ventajoso porque se produce de una manera económica, rápida y precisa.

Dadas las potencialidades anteriormente expresadas, es importante que los estudiantes de Ingeniería y Tecnología Mecánica tengan el conocimiento teórico práctico en el diseño y construcción de un tornillo creador o fresa madre además de conocer y comprender el proceso de generación de engranajes, para que lo apliquen correctamente en su posterior ejercicio profesional.

En el taller de máquinas-herramienta de la Universidad Tecnológica de Pereira se cuenta con una generadora de engranajes, para la cual se requiere ampliar el número de herramientas de corte disponibles.

Actualmente solo se dispone pocas fresas madre y fueron fabricadas en la UTP hace ya bastante tiempo, y algunas de estas se encuentran en el final de su vida útil, que debido a su uso presenta desgaste, no se encuentran en adecuadas condiciones para realizar el tallado de engranajes, dejando acabados superficiales muy pobres, requiriéndose su pronto reemplazo, también se necesita aumentar la disponibilidad de fresas madres existentes en el laboratorio de máquinas herramientas.

En el mercado nacional de herramientas de corte, las fresas madre son difíciles y complejas de conseguir, tienen un costo muy elevado, la oferta es muy baja y los proveedores y distribuidores no las manejan en catálogo de productos. De igual manera obtenerla por importación es muy complicado por motivo de que difícilmente importan una unidad. Regularmente son fabricadas en las mismas empresas.

## METODOLOGÍA EMPLEADA

El proceso de tallado de engranajes por generación es una operación muy importante en la industria manufacturera, gracias a las grandes ventajas que presenta, como por ejemplo: la alta productividad, gran precisión en las piezas fabricadas, solo es necesaria una herramienta para cada módulo (a diferencia del fresado convencional que requiere juegos de 8 fresas para cada módulo)

La máquina generadora de engranajes de la UTP cuenta con muy poca variedad de fresas madre para operar, y por tal motivo, se pretende ampliar el juego de fresas disponibles.

En la Universidad Tecnológica de Pereira, el programa de Tecnología Mecánica imparte el curso de Procesos de Manufactura, donde se trabaja a nivel teórico-práctico el tema de generación de engranajes; con el diseño de esta fresa se puede realizar la fabricación de una nueva fresa madre que va suplir la necesidad que se tiene de fabricar ruedas dentadas de diferentes características, así como también realizar una variación de las prácticas.

Por otra parte, el proceso de diseñar, hacer el desarrollo tecnológico y fabricación de una fresa madre, hace un aporte a la apropiación del conocimiento. La metodología desarrollada durante la ejecución de este trabajo, puede ser replicada y proyectada en posteriores reemplazos de herramientas de corte de difícil consecución.

La industria manufacturera, gracias a las grandes ventajas que presenta, como por ejemplo: la alta productividad, gran precisión en las piezas fabricadas, solo es necesaria una herramienta para cada módulo (a diferencia del fresado convencional que requiere juegos de 8 fresas para cada módulo)

La máquina generadora de engranajes de la UTP cuenta con muy poca variedad de fresas madre para operar, y por tal motivo, se pretende ampliar el juego de fresas disponibles.

En la Universidad Tecnológica de Pereira, el programa de Tecnología Mecánica imparte el curso de Procesos de Manufactura, donde se trabaja a nivel teórico-práctico el tema de generación de engranajes; con la fabricación de una nueva fresa madre se va suplir la necesidad que se tiene de fabricar ruedas dentadas de diferentes características, así como también realizar una variación de las prácticas.

Por otra parte, el proceso de diseñar, hacer el desarrollo tecnológico y fabricación de una fresa madre, hace un aporte a la apropiación del conocimiento. La metodología desarrollada durante la ejecución de este trabajo, puede ser replicada y proyectada en posteriores reemplazos de herramientas de corte de difícil consecución.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y hacer el desarrollo tecnológico una fresa madre módulo de 2,5 mm.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseño de la fresa madre.
- Definir tipo material para la fresa madre.
- Elaborar el plano tecnológico correspondiente.
- Definir el orden operacional acorde al plano tecnológico.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 HISTORIA DEL MECANIZADO

El mecanizado no es muy antiguo, en mayor parte fue desarrollado de manera paralela a la revolución industrial en los siglos dieciocho y diecinueve, durante este periodo de tiempo se trabajaba principalmente la madera y el trabajo del metal en máquinas era muy limitado y bastante rustico. Para inicios del siglo diecinueve los procesos con el hierro eran lentos, pero esto cambió cuando se dispuso de máquinas accionadas por motores de vapor en el inicio y posteriormente por accionamientos de electricidad.

En la historia del mecanizado en máquinas-herramientas es algo relativamente reciente, ya que los materiales para herramientas se han desarrollado durante inicio de 1990 y el presente siglo.

La necesidad de una mayor productividad ha sido la razón del desarrollo del mecanizado; y por esto los tiempos de mecanizado son mucho más cortos, en los inicios del siglo diecinueve el mecanizado era demasiado lento; por ejemplo el cepillado de una superficie de hierro de 1,5 requería todo un día de trabajo.[1]

### 2.2 FRESADO

Este proceso es realizado por un movimiento coordinado entre una herramienta con movimiento rotativo con varias puntas y un avance recto de la pieza. Sin embargo, el fresado es también un movimiento de la herramienta y de la pieza en cualquier dirección. La herramienta del fresado llamada fresa es multifilo y cada uno de ellos arranca cierta cantidad de material. Las ventajas del fresado son una alta eficiencia en el mecanizado, buen acabado superficial, precisión y flexibilidad en la producción de formas.

Mediante el fresado se pueden obtener formas perfiladas tales como caras planas, escuadras y ranuras. [1]

2.2.1 Fresadora. Estas máquinas deben de tener un husillo rotatorio para el cortador y una mesa para sujetar, poner en posición y hacer avanzar la pieza de trabajo. Las maquinas fresadoras se pueden clasificar como horizontales y verticales.

Aparte de la orientación del husillo, las maquinas fresadoras se clasifican según los siguientes tipos:[2]

- Rodilla y columna
- Tipo bancada
- Tipo cepillo
- Fresas trazadoras
- Maquinas fresadoras CNC

2.2.2 Fresa. Son herramientas que se fabrican en una amplia variedad de formas y tamaños, como se observa en la figura 1, las fresas se clasifican generalmente como fresas perfiladas, que quiere decir que cuentan con un filete cortante de perfil dado en sus dientes, en las cuales únicamente se afila este filete, y están las fresas conformadas o de forma, las cuales se afilan sobre el flanco delantero de sus dientes para conservar su forma exacta de la sección transversal de las fresas. Estas pueden ser de árbol, que se pueden montar sobre un árbol y son impulsadas por una chaveta; fresas de vástago, las cuales forman una pieza con un vástago que se ajusta dentro de los husillos de las máquinas.[3]

**Figura 1.** Tipos de fresas.



**Fuente:** [https://www.uther.es/imagenes/fresado\\_vista2.gif](https://www.uther.es/imagenes/fresado_vista2.gif)

En el mercado existen una variedad de fresas que se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Por el método de fresado:
  - Fresas para el fresado frontal
  - Fresas para fresado periférico (concordante o discordante)
- Por el tipo de construcción:
  - Fresas enterizas

- Fresas calzadas
  - Fresas con dientes reemplazables
- c. Por tipo de superficie o perfil de incidencia de la fresa:
- Superficie fresada
  - Superficie escalonada
- d. Por la dirección de corte de las fresas:
- Fresas para corte a la derecha
  - Fresas para corte a la izquierda
- e. Por el montaje o la fijación de las fresas en la fresadora:
- Fresas frontales
  - Fresas de mandril
  - Fresas de vástago
- f. Por la geometría: este tipo de clasificación es la más extensa y la más común de todas las categorías mencionadas anteriormente.
- Cilíndricas periféricas
  - Cilíndricas frontales sin vástago
  - De disco
  - Angulares sin vástago
  - Fresas con vástago
  - De perfil constante
  - Compuestas
  - Fresas madre.

2.2.3 Fresa en sistema de módulo. Cuando ha de trabajarse con medidas decimales, la construcción se hace conociendo previamente su módulo, que no es otra cosa que un número abstracto que resulta de dividir el diámetro de paso, expresado en milímetros, entre el número de dientes que debe tener el engranaje. Esto se hace a fin de unificar las proporciones de los dientes de engrane y poder contar con el comercio con los cortadores (Fresas), necesarios para emprender esta clase de trabajos. Estos forman dos juegos: El primero consta de 8 piezas (numeradas del 1-8), y se emplea para cortar engranes con un módulo menor a 10 y sirve para producir ruedas que tengan desde 12 dientes hasta un número infinito de ellos (cremallera). Si el módulo es mayor a 10, se emplea el 2do juego. Formado por 14 fresas, marcadas de la A-O (exceptuando la I), y que cortan engranes que tengan también desde 12 hasta un número infinito de dientes. Cuando se ocupa este sistema basta conocer dos de los tres datos siguientes: Módulo, Diámetro de Paso y Número de Dientes.[4]

2.2.4 Fresas en sistema paso diametral. En los países donde se utiliza el sistema inglés en sus medidas, el corte de engranes se hace empleando el sistema de paso diametral, que es un número abstracto que resulta de dividir el número de dientes del engranaje entre el número de paso, expresado en pulgadas. Se encuentran en el comercio también dos juegos de cortadores: Compuesto de 8 fresas, sirve para cortar engranes cuyo paso diametral se encuentra entre 24 y 5 con un número de dientes que va del infinito a doce. Cuando el paso diametral es menor de 5, se emplea el segundo, formado por 14 fresas. [4]

## 2.3 MÉTODO DE FABRICACION DE ENGRANAJES POR GENERACIÓN

La generación de engranajes es utilizado para un fresado continuo, donde se generan varios dientes de manera simultánea con una fresa madre o tornillo creador; este proceso permite eliminar errores porque no se requiere de mecanismo divisor.

A diferencia de las fresadoras de consola en las que la pieza es estática, aquí la pieza está animada de movimiento rotativo, el cual debe manejar un sincronismo con la rotación de la fresa madre (en función del tipo de engranaje a fabricar, del número de dientes, de la geometría de la fresa madre).

El fresado por generación no solo puede trabajar en la fabricación de ruedas dentadas rectas y helicoidales, también permite tener otras aplicaciones como prismas de sección hexagonal, ruedas para cadena, arboles estriados etc. Dependiendo del perfil de la herramienta.[5]

Para el caso de la generadora de engranajes que se encuentra en el taller de máquinas y herramientas de la Universidad Tecnológica de Pereira que se aprecia en la figura 1, se tiene la referencia TOS F06.

**Figura 2.** Generadora de engranajes.

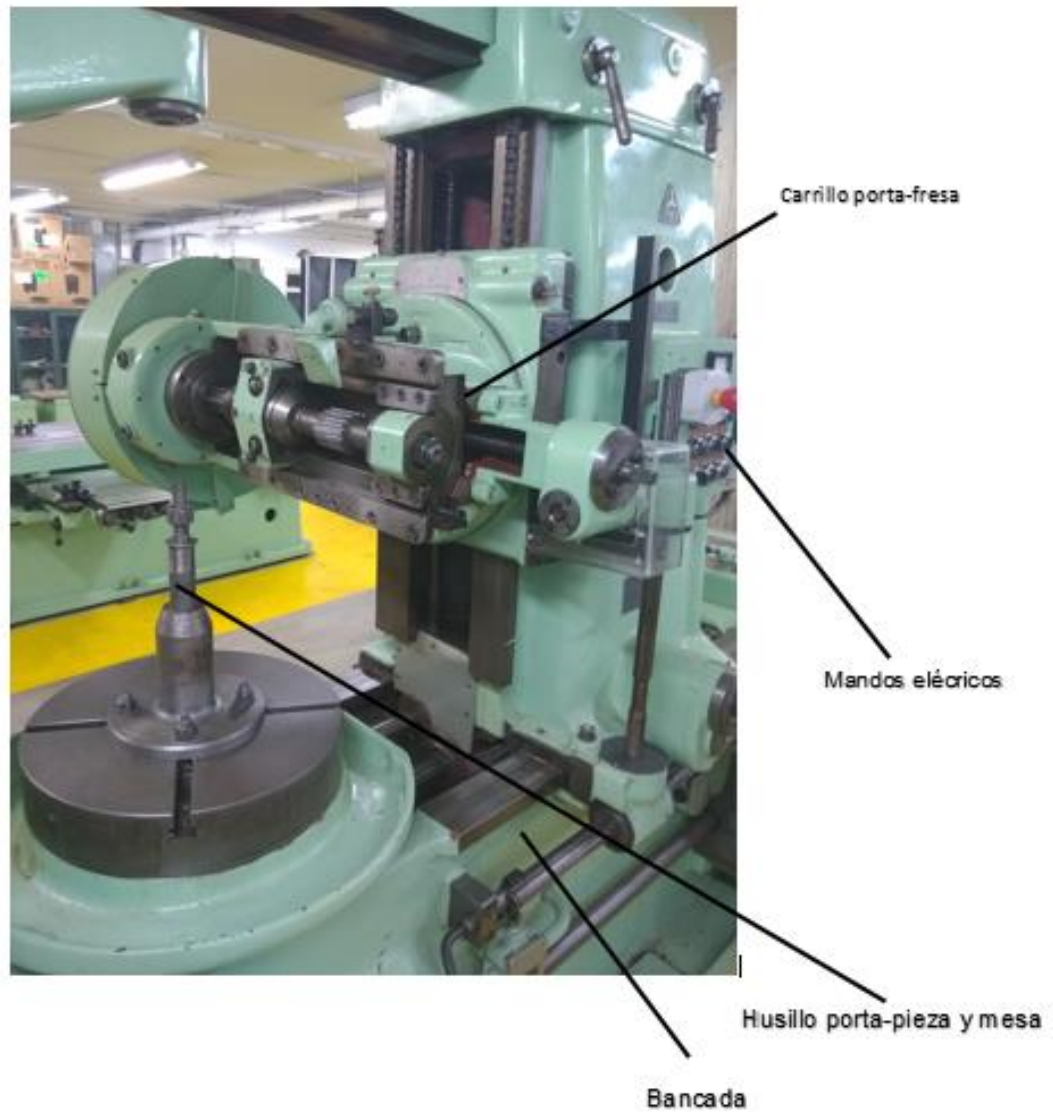


**Fuente:** Autores.

En la figura siguiente se relacionan algunas de las partes principales que componen la generadora de engranajes.



**Figura 3.** Partes de la generadora de engranajes.



**Fuente:** Autores

2.3.1 Parámetros o características de la generadora. Para realizar trabajos en la generadora de engranajes se debe de tener en cuenta:

- Rango de módulos
- Diámetro exterior y longitud máxima de la fresa madre
- Diámetro máximo del engranaje a mecanizar

- Recorrido máximo axial del montante
- Diámetros del árbol porta-fresa y del árbol porta-pieza
- Curso o recorrido máximo del cabezal porta-fresa. Este parámetro es muy importante porque determina el número máximo de piezas que se pueden fabricar en una operación (dependiendo del ancho)
- Rango de velocidades del husillo porta-fresa
- Rango de avances del montaje principal. Adicional si dispone de motores auxiliares para avances rápidos
- Potencia disponible para el mecanizado. Esto es concretado por la posibilidad de tener mayores profundidades de corte y mayores avances.
- Peso y dimensiones de la maquina
- Accesorios estándar y auxiliares, como lo es el juego de engranes de recambio

Teniendo en cuenta todos los parámetros mencionados en anteriormente en la generadora de engranajes de la universidad Tecnológica de Pereira (figura 1) se tienen los siguientes valores:

Tabla 1. Parámetros generadora TOS F06

Descripción	Valor
diámetro de la mesa porta-pieza	420 mm
Peso máximo de la pieza a mecanizar	500 kg
Diámetro de los arboles porta-piezas	22, 27 y 32 mm
Nº y rango de velocidades del husillo porta-pieza	12- 15- 190 rpm
Nº y rango de velocidades de avance	9
Rango de velocidades de avance verticales/vuelta mesa	0,33 mm - 5,2 mm
Rango de velocidades de avance longitudinales/vuelta mesa	0,1 mm - 1,5 mm
Potencia del motor principal	4 kW
Peso de la máquina con accesorios normales	4100 kg
Dimensiones principales de la máquina (Largo x alto x profundidad)	2840 mm 2060 mm 1400 mm

Tabla 1. (Continuación)

Descripción	Valor
diámetro de la mesa porta-pieza	420 mm
Peso máximo de la pieza a mecanizar	500 kg
Diámetro de los arboles porta-piezas	22, 27 y 32 mm
Nº y rango de velocidades del husillo porta-pieza	12 15-190 rpm
Nº y rango de velocidades de avance	9
Rango de velocidades de avance verticales/vuelta mesa	0,33 mm - 5,2 mm
Rango de velocidades de avance longitudinales/vuelta mesa	0,1 mm - 1,5 mm
Potencia del motor principal	4 kW
Peso de la máquina con accesorios normales	4100 kg
Dimensiones principales de la máquina (Largo x alto x profundidad)	2840 mm 2060 mm 1400 mm

En los parámetros de la generadora de engranajes se tienen las ruedas de cambio disponibles para tren divos y tren diferencial las cuales se relacionan en la tabla 2, para el caso de la generadora TOS F06.

Tabla 2. Ruedas de recambio para tren divisor y tren diferencial

76 ruedas M=2									
		23	24	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80		82	83	84	85	86	87	88	89
90		92		94		96	97	98	
100									
110									
120									

- 2.3.2 Sistemas de fijación usados en la generación. La fresa madre se ubica y es fijada en el carrillo porta-fresa; el material previamente mecanizado (diámetro exterior, diámetro interior y ancho), se aloja en el porta-pieza corta y asegura con una tuerca, si la longitud es corta, de lo contrario, si se trata de varias piezas, o si el ancho de la pieza excede la capacidad del eje corto, se puede hacer uso del porta-pieza largo, asegurando su punta libre en el montaje auxiliar.
- 2.3.3 Movimientos principales en la generadora. La fresa madre (figura 3), se monta en el carrillo porta-fresa y las piezas a fresar se ubican en el husillo porta-pieza. El accionamiento de la maquina anima de movimiento a la caja de velocidades (internamente posee dos trenes de engranajes, el divisor y el diferencial) y de allí se deriva una cadena cinemática que lleva el movimiento hasta la fresa madre. Por otro lado una cadena cinemática lleva el movimiento desde la caja de avances hasta el carrillo porta-fresa, con lo que se ajusta la velocidad de descenso de la fresa sobre las piezas a mecanizar. Por último, la mesa se ajusta la velocidad de descenso de la fresa sobre las piezas a mecanizar. Por último, la mesa porta-pieza es animada de un movimiento de rotación por medio de unos trenes de engranajes intercambiables, los cuales previo a la operación deben ser calculados, seleccionados y montados.[6]

Para resumir, existen tres movimientos simultáneos y uno periódico:

- Movimiento de la rotación de la pieza.
- Movimiento de rotación de la fresa madre.
- Movimiento de traslación de la fresa con respecto a las piezas a mecanizar.
- En lo normal la profundidad de corte del diente se aplica en su totalidad al inicio de la operación (pasada única).

Operaciones principales en las generadoras:

- Generación de engranajes rectos
- Generación de engranajes helicoidales
- Generación de prismas hexagonales
- Generación de ruedas para cadenas
- Generación de ejes estriados
- Generación de tornillo sinfín

## 2.4 FRESA MADRE

Esta herramienta es también llamada tornillo creador, y es utilizada en la generadora de engranajes para el tallado de engranajes por generación. Esta pertenece al grupo de fresas cilíndricas.

Su sección puede ser triangular y trapezoidal, en ambos casos forma una hélice. Normalmente su sección es constante, aunque sus dientes tienen ángulos de corte o filo, de incidencia y de desprendimiento de manera muy similar a las demás fresas. Por la capacidad de crear perfiles también es conocida como tornillo creador.

Para la fabricación de engranajes rectos y helicoidales el diámetro primitivo de la fresa madre no es relevante cual sea, pero en el momento de utilizarlo para la construcción de ruedas de tornillo sin fin o coronas, este diámetro debe ser igual al del tornillo sin fin para garantizar un engrane entre los componentes.[5]

En la figura siguiente se aprecia una fresa madre de material acero rápido para la fabricación de engranajes.

**Figura 4.** Fresa madre



**Fuente:** <https://broca.online/fresas/>

### 3. DISEÑO GEOMÉTRICO DE FRESA MADRE DE MÓDULO 2,5 mm

#### 3.1 INTRODUCCIÓN A ESTÁNDARES DE ENGRANAJES.

Los engranajes, así como sus procesos de fabricación y las herramientas utilizados para dar su forma, utilizan parámetros de diseño con estándares ya establecidos bajo normas internacionales.

Partiendo de la suposición que para transmitir movimiento un par de engranajes entre si se toma como si fueran virtualmente un par de cilindros lisos que frotan uno contra el otro con la suficiente fricción uno de ellos pondrá en movimiento circular al otro.

“Con este sistema los deslizamientos son lógicos, y para evitar esto, se proveen las superficies en contacto de dientes, engranando los unos con los otros; una parte de cada diente se establece al interior del cilindro liso, y la otra al exterior; el cilindro liso en realidad desaparece, pero no es así, sino que subsiste sobre los trazos. Esta es la norma fundamental de todo engranaje y se le denomina círculo primitivo; este círculo es el punto de partida para todos los engranajes.[7]

La fórmula para determinar el diámetro primitivo es:

$$Dp = M * N \quad (1)$$

Donde  $Dp$  es el diámetro primitivo,  $M$  el modulo y  $N$  es el numero de dientes del engranaje.

Una unidad de medida para definir los engranajes esta precisada por el paso, que está definida como la distancia que hay comprendida entre un punto de un diente a otro correspondiente del diente siguiente. El paso circunferencial esta dado y el diámetro primitivo desarrollado dependerán del número de dientes del engranaje. Entonces el diámetro primitivo será calculado también por la siguiente ecuación:

$$Dp = \frac{P * N}{\pi} \quad (2)$$

Para todo diámetro primitivo entonces aparece el factor de modulo, que viene dado por el paso sobre la constante  $\pi$ .

$$M = \frac{P}{\pi} \quad (3)$$

Dado que, si se toma el paso como un valor de referencia entero, el módulo no será nunca otro valor entero, por tanto, el cálculo del  $Dp$  tampoco, lo que conlleva que

para un par de engranajes la distancia entre centros y los diámetros sean fracciones lo que en la práctica es algo molesto.

“Para vencer esta dificultad se toma como paso circular los múltiplos de  $\pi$  en lugar de tomar números enteros, siendo tan simple la regla del sistema de Módulo que no consiste en mas que el paso contiene una, dos, tres, etc., veces el número del Módulo multiplicado por 3,1416.[7]

El módulo es un valor que esta normalizado con valores establecidos en tablas, y las dimensiones de los engranajes y el perfil de los dientes son calculados por medio de este.

Tabla 3. Series de módulos normalizados

SERIES DE MÓDULOS NORMALIZADOS																		
SERIE I	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50
SERIE II	1	1,25	1,375	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	7	9	11	14	18	22	28	36	45
SERIE III	3,25	3,75	6,5															

### 3.2 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS Y ECUACIONES CORRESPONDIENTES

Módulo ( $M$ ): es la relación entre el paso, expresado en milímetros, y el número  $\pi$ , o la relación del diámetro primitivo sobre el número de dientes del engranaje.

$$M = \frac{Dp}{N} \quad (4)$$

Paso circular ( $P$ ): es la distancia, medida sobre la circunferencia primitiva, entre un punto determinado de un diente y el punto correspondiente de otro diente inmediato.

$$P = M * \pi \quad (5)$$

Diámetro primitivo ( $Dp$ ): es el diámetro de la circunferencia de contacto de los dientes, la cual determina la relación de transmisión.

$$Dp = M * N \quad (6)$$

Altura de cabeza del diente o addendum ( $h_a$ ): es la distancia medida radialmente entre la circunferencia primitiva y la circunferencia exterior del diente.

$$h_a = 1,167 * M \quad (6)$$

Altura del pie del diente o dedendum ( $h_f$ ): es la distancia medida radialmente entre la circunferencia base del diente hasta la circunferencia primitiva.

$$h_f = 1,167 * M \quad (7)$$

Altura total del diente ( $h$ ): es la distancia medida radialmente entre la circunferencia base hasta la circunferencia exterior del diente; es la suma del adendum y dedendum.

$$h = 2,334 * M \quad (8)$$

Profundidad de la estría ( $h_e$ ):

$$h_e = 3 * M \quad (9)$$

Diámetro exterior ( $De$ ): es el diámetro de la circunferencia exterior del diente, está compuesto por el diámetro primitivo más dos veces el módulo.

$$De = Dp + 2M \quad (10)$$

Diámetro interior ( $Di$ ): es el diámetro de la circunferencia base del diente, está compuesto por el diámetro primitivo menos dos veces la altura del pie del diente.

$$Di = Dp - 2h_f \quad (11)$$

Ancho del diente cortante ( $J$ ):

$$J = 3 + M \quad (12)$$

Ángulo de presión ( $\beta$ ): es el Angulo que forma la línea de presión (normal a la superficie del diente en el punto de contacto entre dos engranajes) con la tangente a ambas circunferencias primitivas.

Ángulo de inclinación de la hélice o filete ( $\alpha$ ): es el ángulo en que se inclina la hélice del tornillo con respecto a un plano radial.

Ángulo de inclinación de las estrías de la fresa madre: es el ángulo de dirección de la estría la cual nos genera los dientes de la fresa, esta medido a partir de la línea de eje de la fresa y esta inclinación permite que, en el momento del corte, entre un diente a la vez mejorando las condiciones de corte.

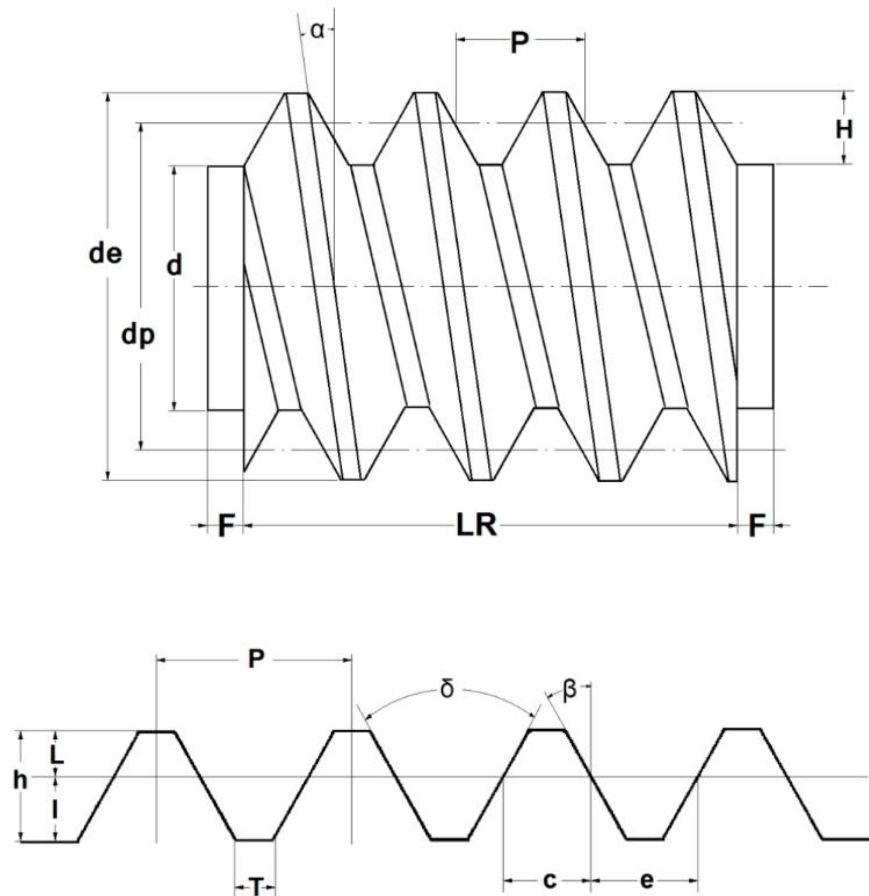
Ángulo de incidencia o destalonamiento: está formado por la cara del afilado con un plano normal al radio de la fresa.

Chaveta: son órganos mecánicos los cuales están destinados a la unión de piezas que deben girar solidarias con un árbol para transmitir un par motriz (volantes, poleas, ruedas dentadas, etc.), permitiendo a su vez, un fácil montaje de las piezas.



Las fresas madres son tornillos sin fin a los cuales son cortadas por las estrías para generar los dientes cortantes, por tanto, se pueden aplicar las ecuaciones de cálculo de los tornillos sin fin, las cuales son las siguientes:

**Figura 5.** Parámetros del tornillo sin fin.



**Fuente:** <https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/calculo-de-tornillo-sin-fin-y-su-rueda/>

Numero de filetes o entradas del tornillo (n): es el número de hilos de la rosca.

Módulo (M):

$$M = \frac{P}{\pi} \quad (13)$$

Paso lineal (P):

$$P = M * \pi \quad (14)$$

Ángulo de inclinación del filete o de la hélice ( $\alpha$ ):

$$\tan \alpha = \frac{M}{dp} \quad (15)$$

Diámetro exterior ( $de$ ):

$$de = dp + 2M \quad (16)$$

Diámetro primitivo ( $dp$ ):

$$dp = de - 2M \quad (17)$$

Diámetro al fondo del hilo ( $d$ ):

$$d = de - 2h \quad (18)$$

Longitud de la parte roscada ( $LR$ ):

$$LR = P * \left( 4,5 + \frac{N^{\circ} \text{ de dientes rueda}}{50} \right) \quad (19)$$

Extremos sin rosca ( $F$ ):

$$F = P \quad (20)$$

Altura total del filete ( $h$ ):

$$h = 2,167 * M \quad (21)$$

Altura de la cabeza del filete ( $L$ ):

$$L = M \quad (22)$$

Altura del pie del filete ( $l$ ):

$$l = 1,167 * M \quad (23)$$

Espesor del filete ( $e$ ):

$$e = \frac{P}{2} \quad (24)$$

Espacio entre filetes ( $c$ ):

$$c = \frac{P}{2} \quad (25)$$

Ángulo en el flanco del filete ( $\beta$ ): filete normal  $\beta=14,5^\circ$ , filete reforzado  $\beta=20^\circ$ , filete para paso largo  $\beta=30^\circ$ .

Ancho en el fondo del filete ( $T$ ):

$$T = \left( \frac{P * \cot \beta}{4} - l \right) * 2 * \tan \beta \quad (26)$$

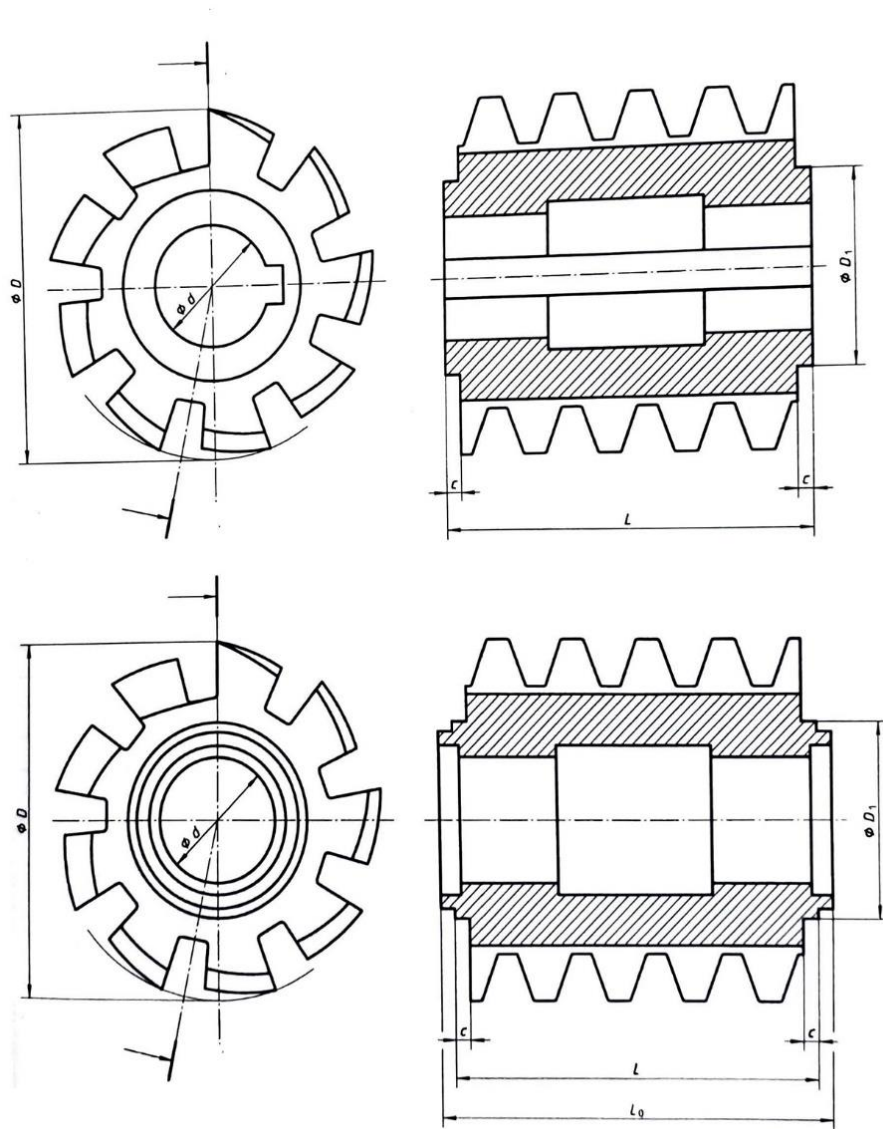
Angulo total entre flacos ( $\delta$ ):

$$\delta = 2 * \beta \quad (27)$$

### 3.3 CÁLCULO DE LOS VALORES DIMENSIONALES DE LA FRESA MADRE

Con el módulo de 2,5 mm escogido de la serie I de los módulos normalizados pasamos a la norma ISO 2490 de estándares internacionales, donde se indican medidas nominales para fresas madres de un solo filete con arrastre por chaveta para la fabricación de engranajes.[8]

**Figura 6.** Perfil de la fresa madre.



**Fuente:** Norma ISO 2490.

**Figura 7.** Dimensiones nominales para fresas madre.

**Table 1 — Nominal dimensions of gear hobs**

Standardized modules		Outside diameter <i>D</i> mm	Bore diameter <i>d</i> mm	Minimum hub length <i>c</i> mm	Overall length		Typical number of gashings
Series I	Series II				<i>L</i> mm	<i>L</i> <sub>0</sub> mm	
1 1,25	1,125	50	22	4	32	44	14
1,5	1,375 1,75	63	27		40	52	
2	2,25	71	27		50	63	
2,5	2,75	71	27		63	78	
3	3,5	80	32		71	88	
4	4,5	90	32		90	107	
5	5,5	100	32		100	117	10
6	7	112	40		112	130	
8	9	125	40	5	140	160	
10	11	140	50		170	190	9
12	14	180	50		200	220	
16	18	212	60		250	275	
20	22	250	60		300	325	
25		300	60		360	390	
	28	320	80		400	430	
32	36	350	80		450	480	
40		400	80		480	510	

**NOTES**

1 The inclination angle of the cutter is calculated from the formula

$$\sin \delta_0 = \frac{m \times z_0}{D - 2h_{a0}}$$

where

- m* is the module;
- z*<sub>0</sub> is the number of threads on the gear hob;
- D* is the outside diameter of the gear hob;
- h*<sub>a0</sub> is the hob addendum of the gear hob (in conformity with ISO 53).

2 Axial gashing is permitted up to a 6° lead angle.

3 Hobs may be either cylindrical or conical. In the case of conical hobs, the outside diameter quoted in this table is the major diameter.

4 Hub diameter *D*<sub>1</sub> is left to the manufacturer's discretion.

5 Dimensions of keyway and tenonway are specified in ISO 240 and ISO 2780, respectively.

**Fuente:** Norma ISO 2490.

De esta norma tomamos los valores de diámetro exterior ( $D_e$ ), diámetro interior ( $d$ ), longitud total de la fresa ( $L$ ), longitud del cubo ( $c$ ), el número de divisiones o dientes cortantes en la periferia de la fresa y podemos calcular el ángulo de inclinación de la hélice, el cual es hacia la derecha, mediante la ecuación:

$$\alpha = \sin^{-1} \left( \frac{M}{D - 2ha} \right) \quad (28)$$

También nos recomienda que el ángulo de inclinación de la estría no sea superior a  $6^\circ$ , este ángulo lo tomaremos perpendicular a el ángulo de inclinación de la hélice.

El diámetro del cubo se recomienda que sea tomado por decisión del fabricante, para nuestro caso tomaremos 37mm.

Para las medidas de esta fresa madre se elegirá una chaveta según la norma DIN 6885, donde tomaremos los datos según la siguiente tabla.[9]

**Figura 8.** Valores de selección para chavetas.

*Chaveta Paralela de Ajuste (fixas e móveis) DIN 6885*

<i>Eixo</i>						<i>Cubo</i>					
<i>de</i>	<i>até</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>t<sub>1</sub></i>	<i>t<sub>2</sub></i>	<i>de</i>	<i>até</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>t<sub>1</sub></i>	<i>t<sub>2</sub></i>
6	8	2	2	1,2	$D + 1$	85	95	25	14	9	$D + 5,4$
8	10	3	3	1,8	$D + 1,4$	95	110	28	16	10	$D + 6,4$
10	12	4	4	2,5	$D + 1,8$	110	130	32	18	11	$D + 7,4$
12	17	5	5	3	$D + 2,3$	130	150	36	20	12	$D + 8,4$
17	22	6	6	3,5	$D + 2,8$	150	170	40	22	13	$D + 9,4$
22	30	8	7	4	$D + 3,3$	170	200	45	25	15	$D + 10,4$
30	38	10	8	5	$D + 3,3$	200	230	50	28	17	$D + 11,4$
38	44	12	8	5	$D + 3,3$	230	260	56	32	20	$D + 12,4$
44	50	14	9	5,5	$D + 3,8$	260	290	63	32	20	$D + 12,4$
50	58	16	10	6	$D + 4,3$	290	330	70	36	22	$D + 14,4$
58	65	18	11	7	$D + 4,4$	330	380	80	40	25	$D + 15,4$
65	75	20	12	7,5	$D + 4,9$	380	440	90	45	28	$D + 17,4$
75	85	22	14	9	$D + 5,4$	440	500	100	50	31	$D + 19,5$

**Fuente:** Norma DIN 6885.

Todas las dimensiones de la fresa madre se calcularon con las ecuaciones descritas anteriormente y con los datos tomados de las normas internacionales se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros calculados con módulo 2,5 mm.

DETALLE	SÍMBOLO	ECUACIÓN	RESULTADO	UNIDAD
Módulo	$M$	$M = \frac{P}{\pi}$	2,5	mm
Paso circunferencial	$P$	$P = M * \pi$	7,8540	mm
Altura total del diente	$h$	$h = 2,334 * M$	5,835	mm
Altura de cabeza de diente	$h_a$	$h_a = 1,167 * M$	2,9175	mm
Altura de pie de diente	$h_f$	$h_f = 1,167 * M$	2,9175	mm
Ángulo de inclinación de la hélice	$\alpha$	$\alpha = \sin^{-1}(\frac{M}{D - 2 h_a})$	2,20°	
Diámetro exterior	$D$		71	mm
Diámetro interior	$d$		27	mm
Longitud de la fresa madre	$L$		63	mm
# de dientes cortantes de fresa	$ND$		14	
Longitud de cubo	$c$		4	mm
Diámetro de cubo	$D1$		37	mm
Radios de redondeo	$r$	$r = 0,3 * M$	0,75	mm
Ángulo de presión	$\beta$		20°	
Ángulo de inclinación estría			2,20°	
Ángulo de incidencia (destalona miento)			10°	
Profundidad de la estría	$h_e$	$h_e = 3 * M$	7,5	mm
Radios de redondeo de la estría	$r_e$	$r_e = 0,6 * M$	1,5	mm
Ancho del diente cortante	$J$	$J = h + 3 mm$	8,835	mm
Altura de chavetero	$t_1$		4	
Base de chavetero	$b$		8	mm

### 3.4 PROCEDIMIENTO PARA FABRICAR PIÑONES EN LA MÁQUINA GENERADORA

El tren divisor el tren divisor divide en partes iguales la pieza a maquinar para que todos los dientes generados queden iguales, se determina, ya sea por consulta en la tabla 2 (valido para G=1 y módulo 2), o por cálculo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{a * c}{b * d} = \frac{12 * G}{Z} \quad (29)$$

Donde:

G: N° entradas del tornillo sin fin de la mesa generadora. Para la maquina TOS F06 este valor es de 1, y no se puede variar.

Z: N° de dientes del piñón a construir.

a,b,c y d son las ruedas del tren divisor. Se debe verificar disponibilidad en la tabla 2.

Se fijan las dimensiones de la materia prima y se mecaniza. Tener en cuenta que el diámetro del árbol porta fresa corto es de 22 mm.

$$Dp = M * Z \quad (1)$$

$$De = Dp + 2M \quad (30)$$

$$B = 10 * M \quad (31)$$

Inclinar el carro porta fresa 2,20° a la izquierda para contrarrestar el ángulo de la fresa madre y que los dientes queden rectos.

El tren diferencial se acopla con el tren divisor y generan el movimiento de la hélice para engranajes helicoidales.

Cálculo para el montaje tren diferencial:

$$tren\ diferencial = \frac{5,96831 * \sin \alpha}{Mn} \quad (32)$$

Donde:

$Mn$ : es el módulo normal

$\alpha$ : ángulo de inclinación de la hélice de la rueda

Para determinar y fijar las RPM máximas de la fresa, su avance vertical, profundidad de pasada y tiempo de mecanizado, de acuerdo con dos ecuaciones siguientes:



$$RPM \max = \frac{10 * Z}{C} \quad (33)$$

Donde:

Z: N° de dientes del piñón a generar.

C: N° pasos de la fresa (para el desarrollo de este trabajo es igual a 1).

Avance:

- Para desbaste, avances grandes.
- Para acabados, avances pequeños.

$$Tm(minutos) = \frac{\text{ancho engranaje (mm)}}{\text{avance vertical } (\frac{mm}{min})} + 1 \quad (34)$$

#### 3.4.1 Ejemplo de cálculo para la fabricación de un piñón recto en la máquina generadora TOS F06:

Se desea mecanizar un engranaje cilíndrico recto de módulo de 2,5 mm y 30 dientes. Realizar los cálculos pertinentes para elaborarlo por generación.

- Se parte de los datos planteados:

Módulo  $M = 2,5$  mm, número de dientes del engranaje  $Z = 30$

- Se calculan los siguientes datos de engranaje:

Diámetro primitivo:

$$Dp = M * Z = 75 \text{ mm}$$

Diámetro exterior:

$$De = Dp + 2M = 80 \text{ mm}$$

Altura total del diente del engranaje:

$$h = 2,16 * M = 5,4 \text{ mm}$$

Longitud del engranaje:

$$L = 10 * M = 25 \text{ mm}$$

- Se calcula la relación de transmisión para la maquina generadora TOS F06 por medio de la ecuación (29):

$$R = \frac{a * c}{b * d} = \frac{12 * G}{Z}$$

Reemplazando los valores  $G = 1$ ,  $Z = 30$  se tiene:

$$R = \frac{a * c}{b * d} = \frac{12 * (1)}{(30)}$$

$$R = \frac{a * c}{b * d} = \frac{12}{30}$$

Se obtiene una relación de 12 a 30, donde por cada 30 vueltas de la fresa madre la pieza a mecanizar dará 12. Se descompone en factores los valores de numerador y denominador de la fracción obtenida para encontrar las ruedas para montar el tren divisor y genere esa relación:

$$R = \frac{a * c}{b * d} = \frac{3 * 4}{5 * 6}$$

Se amplifican los factores por el mismo valor tanto en numerador y denominador para no perder la relación y obtener valores que puedan dar el número de dientes de las ruedas con que cuenta la máquina generadora, en este ejemplo se amplifica por 10:

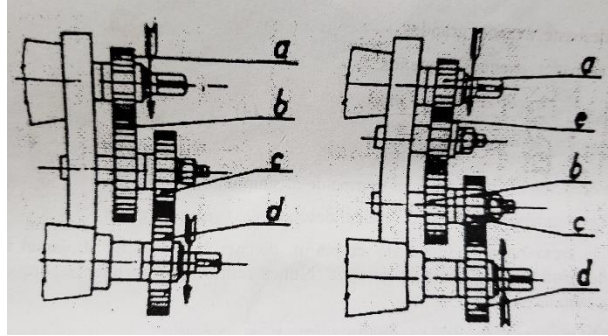
$$R = \frac{a * c}{b * d} = \frac{(3 * 10) * (4 * 10)}{(5 * 10) * (6 * 10)}$$

$$R = \frac{a * c}{b * d} = \frac{30 * 40}{50 * 60}$$

Comparando ambos lados de la ecuación se obtiene los valores de las ruedas  $a = 30$  dientes,  $b = 50$  dientes,  $c = 40$  dientes y  $d = 60$  dientes, con estos valores buscamos en la tabla 2 disponibilidad de estas ruedas para montar el tren divisor. Las cuatro ruedas se encuentran disponibles.

- Se monta el tren diferencial como se indica en la figura 9.

**Figura 9.** Montaje de tren divisor para generar piñones rectos.



**Fuente:** Guía operaciones en la maquina generadora.

- La profundidad de corte  $t$  para cortes de desbaste es recomendada mayor de 2 mm, para este ejemplo dejaremos una profundidad en desbaste de 3,5 mm. La profundidad para acabado recomendada debe ser menor a 2 mm, para este ejemplo dejaremos una profundidad de corte para acabado de 1,9 mm.
- Calculamos el avance vertical de la mesa  $f$  de desbaste y acabado por la siguiente ecuación:

$$f = \frac{t}{k} \quad (35)$$

Donde  $k$  es una constante de corte, para desbaste igual a 6 y para acabado igual 10. Nos da como resultado un avance para desbaste de 0,58 mm/min y para acabado 0,19 mm/min.

- Se determinan y se fijan las RPM de la fresa:

$$RPM \max = \frac{10 * Z}{C} \quad (36)$$

Con  $C$  que es el número de entradas de la fresa que es igual a 1 y  $Z$  número de dientes del piñón igual a 30.

$$RPM \max = 300 \text{ RPM}$$

Esto se debe comparar con las revoluciones de la maquina en la tabla 1, por lo cual la máquina solo nos da unas RPM máximas de 190 con las cuales se maquinará.

## 4. SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA FRESA MADRE

Para la construcción de herramientas de corte existen una serie de materiales que tratan a continuación:

### 4.1 ACEROS PARA HERRAMIENTAS.

Los aceros para herramientas se pueden clasificar de 4 maneras:

- Aceros al carbono simple: contienen de 0,60 a 1,40 por ciento de carbón, son muy empleados debido a su bajo costo y excelentes propiedades. Son muy usados en la fabricación de limas, brocas salomónicas, cojinetes de terrajas pequeños machos de terraja, en las cuales la característica principal es la alta dureza, para esto es necesario un contenido de carbono de 1,20 por ciento o mayor. En las herramientas sujetas a choques, como las cuchillas de cizalla, cinceles, martillos y troqueles de forja, los contenidos de carbono tienen que ser con un valor por debajo de 0,8 por ciento. Los aceros al carbono no tienen disposición para retener su dureza a temperaturas tan elevadas como las desarrolladas en los filos de las herramientas para cortar metales actuando bajo condiciones severas, una característica de este tipo de materiales es que tienden a agrietarse o a alabearse al ser templados.
- Aceros con temple al aceite: son llamados en algunas ocasiones aceros no deformables tienen suficiente contenido de aleación para templarse por inmersión de aceite; en estos materiales son pequeños los efectos de distorsión y agrietamiento. Contienen generalmente hasta 1,5 por ciento de manganeso con pequeños valores de cromo, molibdeno, vanadio o tungsteno y son muy similares en características a los aceros al carbono simple.
- Aceros para velocidad semialta: pueden trabajar a temperaturas más alta que los aceros al carbono sin perder la dureza por consecuencia de las proporciones regularmente altas del tungsteno y cromo. Los carburos aleados resisten el efecto de revenido de las temperaturas altas de la herramienta y contribuyen también a la resistencia a la abrasión del acero. Por su alto contenido de aleación, estos aceros pueden ser templados al aceite y, en consecuencia, no tienden a agrietarse ni alabearse durante el temple.
- Aceros para alta velocidad: retienen una dureza considerable a altas temperaturas. Estos materiales normalmente contienen 18 por ciento de tungsteno, 4 por ciento de cromo y 1 por ciento de vanadio. En ocasiones se le agrega cobalto como un elemento de aleación, para mejorar las propiedades de

corte en las operaciones de desbastado. El molibdeno puede sustituir a una parte del tungsteno para bajar costos y dar una tenacidad mayor.

Se requieren temperaturas de calentamiento muy altas para este tipo de aceros. La temperatura debe incrementar lentamente hasta alcanzar 870 °C, manteniéndolo hasta que alcance una temperatura uniforme, posteriormente se calienta rápidamente hasta 1260 °C. Luego es enfriado por inmersión en aceite caliente o en un chorro de aire. El acero de alta velocidad debe revenirse luego a unos 600 °C para aumentar su tenacidad, debido a un efecto secundario de temple, la dureza del acero revenido puede ser superior que la que tenía templado. En términos generales, los aceros para alta velocidad al cobalto requieren temperaturas de inmersión para el temple más altas, y los aceros al molibdeno más bajas.[3]

Para la ejecución de este proyecto se define como material para la fresa madre el acero para alta velocidad E M35 el cual tiene contenido de cobalto que incrementa la resistencia en caliente. Este material ofrece una buena combinación entre tenacidad y dureza, además de una buena maquinabilidad.

Este material es utilizado en las siguientes aplicaciones:

- Escariadores
- Fresas
- Fresas de espiga
- Cortadores frío
- Fresas madre
- Brochas
- Sierras
- Trabajo en frío

Este tipo de acero rápido tiene las siguientes equivalencias:

- USA: AISI M35
- Europa: HS 6-2-6-5
- Alemania: W.Nr. 1.3243
- Francia: (AFNOR Z90WDKCV6.5.5.4.2
- Suecia: SS2723
- UK:BM35
- Japón: JIS SKH55

Este material al adquirirse comercialmente cuenta con una dureza con los siguientes valores:

- Recocido blando: max.270 HB
- Estirado en frío: max. 320 HB

- Laminado en frío: max. 320 HB

Los materiales que pueden maquinar este material de la fresa madre son los siguientes:

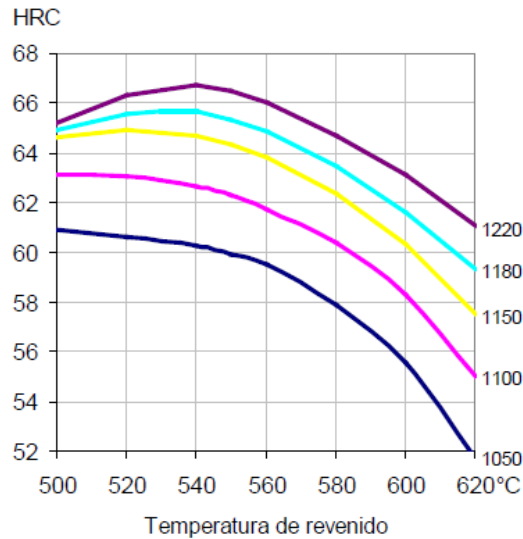
- Cobre-Bronce-Latón viruta corta (<200 HB / <700 N/mm<sup>2</sup>)
- Aleaciones titanio
- Fundición (200-300 HB / 700-1000 N/mm<sup>2</sup>)
- Fundición (<200 HB / <700 N/mm<sup>2</sup>)
- INOX ferrítico / martensítico (<320 HB / <850 N/mm<sup>2</sup>)
- INOX austenítico (<250 HB / <850 N/mm<sup>2</sup>)
- Aceros aleados (<300 HB / <1000 N/mm<sup>2</sup>)
- Duroplásticos
- Termoplásticos
- Aleaciones Al-Mg Si > 10% (<180 HB / <600 N/mm<sup>2</sup>)
- Aleaciones Al-Mg Si < 10% (<180 HB / <600 N/mm<sup>2</sup>)
- Al-Mg no aleado (<100 HB / <350 N/mm<sup>2</sup>)
- Cobre-Bronce-Latón viruta larga (<200 HB / <700 N/mm<sup>2</sup>)
- Aceros construcción / carbono (<250 HB / <850 N/mm<sup>2</sup>)

Para la etapa del tratamiento térmico al que se va a someter el material de deben de tener en cuenta las siguientes especificaciones

- Recocido blando en atmosfera protegida a 850°C a 900°C, 3 horas, seguido de enfriamiento lento 10°C por hora hasta 700°C a continuación libre al aire.
- Recocido de eliminación de tensiones entre 600°C y 700°C durante aproximadamente 2 horas, enfriamiento lento hasta 500°C.
- Austenización (temple) en atmosfera protegida con precalentamiento en 2 etapas a 450°C – 500°C y 850°C – 900°C. Austenizar a la temperatura adecuada para la dureza seleccionada.
- Se recomienda 2 revenidos a 560°C con una permanencia mínima de 1 hora por revenido.

En la siguiente grafica se pueden apreciar las recomendaciones para los tratamientos térmicos.

**Figura 10.** Recomendaciones para tratamiento térmico del material.



**Fuente:** erasteel

En la tabla siguiente se puede apreciar las temperaturas a las cuales se pueden realizar los tratamientos térmicos, enfriamiento y revenido 2 x 1 hora.

Tabla 5. Temperaturas de temple y revenido.

Herramienta	Temple	Revenido
Herramienta de corte de 1 filo	1220°C	560°C
de múltiples filos	1180°C - 1220°C	550°C - 570 °C
para aplicaciones en frío	1050°C - 1150°C	550°C - 570 °C

Según la figura 9 y con los datos de temperatura de la tabla 5, obtenemos las siguientes durezas.

Eligiendo una temperatura de 1220°C para el proceso de templado se tiene un valor de dureza de 666 HB (61 HRC) que es un incremento considerable en su dureza a como se ha adquirido comercialmente si es por laminado en frío que tiene un valor de 320 HB (34 HRC).

Una vez hecho el templado se procede a realizar el revenido a una temperatura recomendada en la tabla 5, de 570 °C obteniendo una dureza de 748 HB (65 HRC).

Los procesos el cual este material E M35 pueden ser:

- Mecanizado (rectificado, torneado, fresado)
- Pulido
- Deformación plástica
- Electroerosión
- Soldadura (requiere proceso especial incluido precalentamiento y electrodos por la composición química)

La composición química del material se aprecia en la tabla siguiente:

Tabla 6. Composición química del material

C	Cr	Mo	w	Co	V
0,93	4,2	5	6,4	4,8	1,8



## **5. ORDEN OPERACIONAL PARA CONSTRUCCIÓN DE FRESA MADRE**

Para la construcción de una fresa se deben de seguir las siguientes operaciones:

### **5.1 PREPARACIÓN DEL NÚCLEO METÁLICO**

Se corta una barra metálica del material con el que se va a construir la herramienta, donde posteriormente se hace un proceso de torneado para obtener el diámetro exterior.

### **5.2 CONSTRUCCIÓN DEL TORNILLO**

Sobre el núcleo ya preparado se construye el tornillo en la fresadora universal, con una fresa de módulo 2,5, se debe dar un ángulo de inclinación a la mesa de  $2,2^\circ$

### **5.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS DIENTES**

Una vez fabricado el tornillo se fresan una serie de entallas helicoidales que corten normalmente los filetes del tornillo.

### **5.4 DESTALONADO DE LOS DIENTES**

Esta operación se debe realizar en máquinas especiales derivadas del torno paralelo, llamados tornos de destalonar.[10]

### **5.5 TRATAMIENTO TÉRMICO**

El tratamiento térmico consiste en calentar el acero a una temperatura determinada, mantenerlo a esta temperatura durante cierto periodo de tiempo hasta que se conforme la estructura deseada y luego enfriar el material a una velocidad conveniente, los factores temperatura-tiempo deben ser muy bien analizados dependiendo del material, tamaño y forma de la pieza a tratar. Mediante estos procesos se modifican microscópicamente la estructura interna de los metales, ocurriendo transformaciones físicas, cambios de composición y distintas propiedades como son:

- Estructura de mejor dureza y maquinabilidad

- Eliminar tensiones internas y evitar deformaciones después del mecanizado
- Estructura más homogénea
- Máxima dureza y resistencia posible

Con un tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. El tratamiento térmico es un paso fundamental para alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales esta creado.

5.5.1 Templado. Consiste en calentar la herramienta en atmosfera neutra, hasta lograr la temperatura de templado del material y seguidamente de una manera rápida, se somete el material a la acción de un fluido refrigerante moviéndola suavemente dentro de este y cuando la temperatura se iguale a la del fluido El Temple es un tratamiento térmico que tiene por objetivo aumentar la dureza y resistencia mecánica del material, transformando toda la masa en Austenita con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento brusco (con aceites, agua o salmuera), se convierte en Martensita, que es el constituyente duro típico de los aceros templados. En el temple, es muy importante la fase de enfriamiento y la velocidad alta del mismo, además, la temperatura para el calentamiento óptimo debe ser siempre superior a la crítica para poder obtener de esta forma la Martensita. Existen varios tipos de Temple, clasificados en función del resultado que se quiera obtener y en función de la propiedad que presentan casi todos los aceros, llamada Templabilidad (capacidad a la penetración del temple), que a su vez depende, fundamentalmente, del diámetro o espesor de la pieza y de la calidad del acero. [11]

5.5.2 Revenido. Es un tratamiento térmico que se les hace a las piezas de acero que han pasado por un proceso de temple. Con este tratamiento, que consiste en un calentamiento a una temperatura inferior la crítica, se disminuye la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, quedando además el acero con la dureza o resistencia deseada.[12]

Para la construcción de la fresa madre los tratamientos térmicos constan de un templado y un revenido. La temperatura, el enfriado y el procedimiento más adecuado deben de fijarse de acuerdo con la composición química del material y con la dureza deseada.

Debe operarse con alta precisión para reducir las deformaciones al mínimo.

Después del tratamiento térmico debe comprobarse si la dureza alcanzada está de acuerdo con la prescrita (unos 64 HRC para las fresas de acero rápido)

## **6. RECOMENDACIONES**

1. Con un solo módulo de fresa madre se pueden construir todo número de dientes de ruedas dentadas.
2. El proceso por generación de engranajes es recomendado para producción en serie y grandes cantidades de ruedas dentadas.
3. Esta fresa madre se puede emplear para la construcción de piñones rectos, helicoidales, ruedas vaciadas o globoides.
4. Esta fresa madre está diseñada para trabajar en la maquina generadora de engranajes ubicada en el taller de máquinas-herramientas de la facultad de mecánica de la UTP.

## **7. CONCLUSIONES**

1. Aplicando los conocimientos obtenidos durante el estudio del programa académico de tecnología mecánica se pueden desarrollar proyectos de diseño y construcción de herramientas de corte complejas y poco comunes.
2. Utilizando los datos calculados en el desarrollo de este proyecto y basados en las normas usadas se pueden obtener los parámetros geométricos para diseñar fresas madre para todos los módulos.
3. Este tipo de herramientas actualmente vienen fabricadas por materiales duros como los insertos cerámicos con características muy particulares, esto facilita emplear las condiciones de corte dependiendo del material de la herramienta y de la pieza a maquinar.
4. Se puede construir la fresa madre bajo procesos de manufactura convencionales, pero también se pueden utilizar procesos actuales con tecnologías CNC donde se genera mayor exactitud en las medidas de la fresa, lo que genera mayor confiabilidad en los engranajes generados.
5. Una fresa madre con más número de dientes afecta directamente en su vida útil, puesto que mayor número de dientes en la periferia de la fresa conlleva una disminución del ancho del diente, reduciendo el número de afilados posibles.
6. El proceso de temple y revenido ayuda a mejorar las propiedades mecánicas del material de construcción de la fresa lo cual permite realizar maquinados en diferentes materiales además de aumentar su vida útil.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Coromant, *El Mecanizado Moderno*, Primera. Inglaterra, 1994.
- [2] M. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna Materiales, procesos y sistemas*, 3rd ed. 2007.
- [3] L. S. MARKS, *MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO DE MARKS*, Sexta. MEXICO D.F, 1967.
- [4] “Sistema de Módulo y Sistema de Paso Diametral.” [Online]. Available: <https://es.scribd.com/doc/82804307/Sistema-de-Modulo-y-Sistema-de-Paso-Diametral#scribd>. [Accessed: 07-Nov-2018].
- [5] Jesús Mendoza G., *Guía teórica de máquinas fresadoras*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 1991.
- [6] *OPERACIONES EN LAS MÁQUINAS GENERADORAS*. Pereira.
- [7] A. . Casillas, *Atlas Calculador de ruedas para pasos en máquinas Herramientas*. España, 1976.
- [8] *ISO 2490 Single-start solid (monobloc) gear hobs with tenon drive or axial keywa, 1 to 40 module - Nominal dimensions*, Segunda. 1996.
- [9] *DIN 6885: Chaveta paralela de ajuste*. .
- [10] D. Lucchesi, *Fresado, Planeado y Taladrado*, Primera. Barcelona, 1973.
- [11] “TRATAMIENTOS TÉRMICOS.” ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO, Bogotá, 2008.
- [12] C. M. P, “de los aceros y equipos.” Universidad Tecnológica de Pereira.